

Mestrado Integrado em Engenharia Química

Aproveitamento do calor disponível nas râmolas da Tintojal

Tese de Mestrado

de

Ana Filipa Pinto Pontvianne Ferreira

Desenvolvida no âmbito da unidade curricular de Dissertação

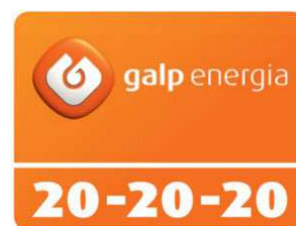
realizada em

Tintojal - Tinturaria e Acabamentos, Lda.



Orientador na FEUP: Prof. Fernando Gomes Martins

Orientador na Tintojal - Tinturaria e Acabamentos, Lda.: Eng. Filipe Novais



Departamento de Engenharia Química

Julho de 2014

Ao meu bisavô.

Agradecimentos

Começo por agradecer à Galp por esta oportunidade que me deu, fazendo parte integrante do projeto “Galp 202020” que me deu a conhecer e abrir novos horizontes.

À Tintojal em geral, pela disponibilidade, amabilidade e apoio que me foi dado durante o estágio, em especial ao Eng.º Filipe Novais, Dr.ª Mónica Novais, Patrícia, Sr. Pedro e Sr. Fausto por trabalhar mais diretamente.

Ao meu orientador na FEUP, Prof. Fernando Martins pela sua disponibilidade e apoio durante esta etapa. Pelos seus conselhos e esclarecimentos. Por também me ter ajudado a fazer parte integrante neste projeto.

Aos meus pais, Raquel e João, avós, Ana Maria, António Pinto, Maria Teresa Ferreira, José Mário Ferreira e António Matos, aos meus irmãos, Ana Catarina, Ana Rita, Ana Margarida e Afonso, a todos os tios, Rui, Isabel, Teresa, Susana, José Mário, Luísa, Abel, Francisco, Susana Mourão, Brigitte, Maria João, Alexandre, João, Elizabete, Maria Luísa, Miguel, Rui e Elsa, a todos os primos, Raquel, Maria, André, João, Mário Rui, André, Vasco, Bruno, Maria Francisca, Alice, Henrique, Joana, Bernardo, Nuno e Francisca, à Fátima Ferreira, ao Alberto Fernandes e à Mariana Fernandes por também tornarem tudo isto possível, por toda a disponibilidade e todo o seu apoio incondicional, orientação e amabilidade.

Ao meu namorado, André Leal, por estar sempre presente e apoiar incondicionalmente todas as minhas decisões, não deixando de partilhar comigo as suas críticas construtivas, que me ajudaram a crescer.

Aos meus amigos mais próximos, Sara Rodrigues, Ana Janeiro, Isabel Janeiro, Gisela Oliveira, Vítor Oliveira, Pedro Carvalho, Susana Leal, António Sousa, Nuno Ferreira, Hugo Oliveira, Jorge Malheiro, Sérgio Ribeiro, Tiago Fachada, José Domingos e Vera Reis por todo o apoio, ajuda e amizade.

Aqueles com quem pude partilhar o meu percurso na faculdade e também criar amizade, André Oliveira, Eduardo Oliveira, João Antunes, Patrícia Porfírio, Rita Magalhães, Catarina Frazão, Beatriz França, Sara Cardoso, Ana Tavares, Ana Cardoso, Ricardo Silva, Bárbara Libório, Maria João, Tiago Godinho, João Araújo, Inês Guimarães, Rita Araújo, Ana Cerqueira, Sofia Delgado, Tiago Leite, Liliana Monteiro, Andreia Freitas.

Ao meu bisavô, José Volta Reis, com quem não pude, infelizmente, partilhar esta fase, no entanto, está sempre presente.

Resumo

Este projeto enquadra-se na iniciativa Galp 20-20-20 que se trata de uma parceria entre esta empresa e a Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto que visa a realização de projetos no âmbito da otimização energética na indústria portuguesa. Este projeto foi realizado na Tintojal - Tinturaria e Acabamentos, Lda.

Com a realização deste projeto pretende-se encontrar uma ou mais soluções viáveis para conseguir obter um processo mais eficiente do ponto de vista energético.

Foram realizadas tarefas, de uma forma metódica e organizada na realização deste trabalho.

Numa fase inicial foi feito um levantamento dos equipamentos existentes na fábrica e a análise aos consumos energéticos, estudando as faturas do gás natural, eletricidade e vapor.

Da análise descrita no parágrafo anterior estudaram-se dois cenários possíveis que visavam um aproveitamento dos gases de exaustão provenientes das râmolas em questão para aquecer a água do processo de 20 °C até 60 °C e para isso foi necessário projetar os permutadores de calor, para cada uma das soluções encontradas. Esta água quente pode ser fornecida aos jets da parte da tinturaria.

Num primeiro cenário projetaram-se dois permutadores de calor, um deles em que a corrente quente de alimentação provinha das râmolas 4 e 5 e esta mesma corrente no segundo permutador provinha da râmola 6.

No segundo cenário projetou-se apenas um permutador em que a sua corrente quente de alimentação provinha das râmolas 4, 5 e 6, simultaneamente. Para ambos os casos foi feita uma análise económica.

Por fim, chegou-se à conclusão que a segunda hipótese seria a mais benéfica para a Tintojal pois pouparia cerca de 95% na fatura da água quente, que representaria uma poupança anual de €350 748 e teria um tempo de retorno de um mês, ao invés da primeira que pouparia menos 10% que a anteriormente referida, o que representaria €310 694 no espaço de um ano e teria um tempo de retorno de dois meses.

Palavras-chave (Tema): Energia, otimização energética, gás natural, râmola, permutador de calor.

Abstract

This project fits in an initiative of Galp 20-20-20, which is a partnership between the Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto and Galp and Galp costumers. The main objective is to optimize the energetic consumptions of Portuguese industry. This project was made at Tintojal - Tinturaria e Acabamentos, Lda.

It is intended to find one or more solutions to obtain more efficient processes from the standpoint of energetic efficiency.

Some tasks were methodically conducted to realize this project.

Initially an inventory of the existent equipment was made and a detailed analysis of energy consumptions by reviewing of natural gas, electricity and steam bills.

Due to the previous analyses, two scenarios were developed in order to reutilize the heat of exhaust gases for heating the water from 20°C to 60°C. This hot water can be supplied to Jets. To make this possible there were projected some heat exchangers for the two particularly cases were designed.

The first scenario considers the implementation of two heat exchangers: one for the stender 4 and 5 and the other one for stender 6. The second one was design only one heat exchanger for the 3 stenders.

The economical evaluation allows to conclude that the second scenario was the best one because it would save annually around 95% on the hot water bill, which means that the company would save annually €350 748. The payback time for this scenario is about one month, which demonstrates the potential of the implementation at Tintojal.

Keywords (Subject): Energy, energy optimization, natural gas, stender, heat exchanger.

Declaração

Declaro, sob compromisso de honra, que este trabalho é original e que todas as contribuições não originais foram devidamente referenciadas com identificação da fonte.

Porto, 7 de julho de 2014

(Ana Filipa Pinto Pontvianne Ferreira)

Índice

1	Introdução.....	1
1.1	Enquadramento e Apresentação do Projeto	1
1.2	Apresentação da Empresa	1
1.3	Contributos do Trabalho.....	2
1.4	Organização da Tese	2
2	Estado da Arte	4
3	Descrição Técnica.....	5
3.1	Descrição de atividades da Tintojal	5
3.2	Situação energética da empresa	6
3.2.1	Consumos energéticos.....	6
3.2.2	Diferentes máquinas consumidoras de energia	6
3.3	Râmolas	7
3.3.1	Conceitos	7
3.3.2	Combustão do gás natural	8
3.4	Consumos das râmolas	9
3.4.1	Procedimento	9
3.5	Aproveitamento do calor dos gases de exaustão.....	14
3.5.1	Cenário I: Dois permutadores de calor	14
3.5.2	Cenário II - Apenas um permutador de calor.....	19
3.6	Avaliação económica	21
3.6.1	Cenário I: dois permutadores	21
3.6.2	Cenário II: Com um permutador	22
4	Conclusões	23
4.1	Objetivos Realizados	23
4.2	Limitações e Trabalho Futuro	23
4.3	Apreciação final	24
Anexo 1	Exemplos de Cálculos	26

Anexo 2	Especificações dos permutadores.....	28
---------	--------------------------------------	----

Índice de Tabelas

Tabela 3.1 - Consumos energéticos por fonte, em 2013.....	6
Tabela 3.2 - Diferentes tipos de máquinas.	7
Tabela 3.3 - Volume de gás natural consumido e quantidade de malha produzida.....	10
Tabela 3.4 - Valores obtidos após balanço mássico e energético à râmola 5.	12
Tabela 3.5 - Valores obtidos após balanço mássico e energético às râmolas 4, 5 e 6.	13
Tabela 3.6 - Caudais e temperaturas médias das correntes quentes dos permutadores. .	14
Tabela 3.7 - Dados das correntes do permutador de calor para as râmolas 4 e 5.	15
Tabela 3.8 - Dados das correntes do permutador de calor para a râmola 6.....	15
Tabela 3.9 - Principais características dos dois permutadores de calor.	16
Tabela 3.10 - Dados das correntes do permutador de calor para as râmolas 4, 5 e 6.....	19
Tabela 3.11 - Principais características o permutador de calor para as três râmolas.....	19
Tabela 3.12 - Método PB para o primeiro caso.....	22
Tabela 3.13 - Método PB para o segundo caso.	22

Índice de Figuras

Figura 1.1 - Vista aérea da Tintojal - Tinturaria e Acabamentos, Lda. (fonte: https://www.google.pt/maps)	1
Figura 3.1 - Principais atividades na unidade fabril.	5
Figura 3.2 - Percentagem do custo energético por fonte, em 2013.	6
Figura 3.3 - Esquema exterior de uma râmola (fonte: www.hitecec.com.kr).	8
Figura 3.4 - Esquema interior de uma râmola (fonte: www.unitechgroup.it).	8
Figura 3.5 - Variáveis para o balanço a uma râmola.	9
Figura 3.6 - Contador de gás natural.....	10

Figura 3.7 - Exemplo da máquina de corte circular do tecido. (http://www.polinst.com.br)	11
Figura 3.8 - Exemplo do exterior de um permutador de carcaça e tubos. (fonte: www.cataractsteel.com)	16
Figura 3.9 - Exemplo do interior de um permutador de carcaça e tubos. (fonte: www.womackmachine.com)	16
Figura 3.10 - Layout da fábrica e localização do permutador que aproveita os gases de exaustão das râmolas 4 e 5.	17
Figura 3.11- Layout da fábrica e localização do permutador que aproveita os gases de exaustão da râmola 6.	18
Figura 3.12 - - Layout da fábrica e localização do permutador que aproveita os gases de exaustão das râmolas 4, 5 e 6.	20
Figura (Anexo 2).1 - Exemplo da TEMA Sheet fornecida pelo Aspen para o permutador das râmolas 4 e 5, no primeiro caso.	29
Figura (Anexo 2).2 - Exemplo da TEMA Sheet fornecida pelo Aspen para o permutador da râmola 6, no primeiro caso.	30
Figura (Anexo 2).3 - Exemplo da TEMA Sheet fornecida pelo Aspen para o permutador das râmolas 4, 5 e 6, no segundo caso.	31

Notação e Glossário

A	Área	m^2
T	Temperatura	$^{\circ}\text{C}$
ΔT	Diferença entre temperaturas	$^{\circ}\text{C}$
ΔT_{ML}	Diferença média logarítmica entre temperaturas	$^{\circ}\text{C}$
P	Pressão	bar
M	Massa	kg
V	Volume	m^3
M	Massa molar	$\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$
T	Tempo	h
\dot{m}	Caudal mássico	$\text{kg} \cdot \text{h}^{-1}$
\dot{v}	Caudal volumétrico	$\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$
P	Massa volúmica	$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$
C_p	Capacidade calorífica	$\text{kcal} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot ^{\circ}\text{C}^{-1}$
P	Potência	kW
Q	Energia	kcal
PCI	Poder calorífico inferior	$\text{kcal} \cdot \text{kg}^{-1}$
CO₂	Dióxido de carbono	-
H₂O	Água	-
CH₄	Metano	-
T_{EM}	Temperatura de entrada da malha	$^{\circ}\text{C}$
T_R	Temperatura de funcionamento da râmola	$^{\circ}\text{C}$
T_E	Temperatura de exaustão	$^{\circ}\text{C}$
gr_{AR}	Gramagem antes de ramolar	$\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$
gr_{DR}	Gramagem depois de ramolar	$\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$
m_{AE}	Massa de água evaporada	kg
V_{GN}	Volume de gás natural	m^3

m_{GN}	Massa de gás natural	kg
Q_{GN}	Energia libertada pelo gás natural	kcal
Q_{H2O}	Energia necessária para aquecer a água	kcal
$m_{AR,Q}$	Massa de ar para queima	kg
$m_{AR,A}$	Massa de ar alimentado à râmola	kg
m_{CO2}	Massa de CO ₂ produzida	kg
m_{H2O}	Massa de H ₂ O produzida	kg
m_E	Massa dos gases de exaustão	kg
H_{in}	Corrente quente de entrada no permutador de calor	-
H_{out}	Corrente quente de saída no permutador de calor	-
C_{in}	Corrente fria de entrada no permutador de calor	-
C_{out}	Corrente fria de saída no permutador de calor	-

Nota: Neste trabalho é usado como separador decimal o ponto e como separador dos milhares o espaço, de acordo com o decreto-lei 238/94, 19 de setembro de 1994 [1].

1 Introdução

1.1 Enquadramento e Apresentação do Projeto

Este trabalho foi desenvolvido no âmbito do projeto da Galp 20-20-20 que visa a identificação de sistemas e comportamentos energéticos racionais, aplicáveis na indústria e edifícios [2]. Neste trabalho pretende efetuar-se um estudo a uma unidade fabril, na área da energia, para posteriormente desenvolver oportunidades de melhoria que levem ao aumento da eficiência energética da Tintojal.

A necessidade de reduzir o consumo de energia à escala global, dita a necessidade de cada país desenvolver políticas energéticas capazes de cumprir metas cada vez mais exigentes. A política energética nacional assenta em dois pilares principais: a racionalidade económica e a sustentabilidade [3]. Para que esta política possa ser levada a cabo existe a necessidade de se estabelecer um conceito muito importante: a eficiência energética. Pode entender-se como eficiência energética a otimização no consumo de energia, o que corresponde a que para uma mesma quantidade de matéria a produzir se utilize a menor quantidade de energia possível.

Na indústria têxtil, devido aos elevados consumos energéticos, é então necessário tentar otimizar da melhor forma possível o processo, para que possamos obter um maior rendimento possível, com os menores custos associados [4].

1.2 Apresentação da Empresa

A Tintojal - Tinturaria e Acabamentos, Lda. foi criada em 1997 é uma empresa prestadora de serviços de tinturaria e acabamentos têxteis, numa vasta gama de malhas e fibras. Situa-se na Rua da Cerquinha, 242 em Ronfe, Guimarães.



Figura 1.1 - Vista aérea da Tintojal - Tinturaria e Acabamentos, Lda. (fonte: <https://www.google.pt/maps>)

A Tintojal trata aproximadamente 6 000 t de malha por ano.

É considerada uma empresa consumidora intensiva de energia, segundo o Plano de Racionalização de Consumo de Energia (PREn), pois ultrapassa um consumo anual de 500 tep (toneladas equivalentes de petróleo). No ano de 2007 a empresa consumiu cerca de 3 600 tep.

É uma empresa consciencializada relativamente ao meio ambiente e à sua preservação, uma vez que não efetua descargas de águas contaminadas diretamente para o rio, enviando-as então a ETAR mais próxima, através de condutas.

Recebeu vários prémios devidos à sua solidez financeira, bem como considerada atribuição do prémio PME Líder no ano de 2011. Encontra-se também certificada pela *Ecolub*. Tem também certificação *Öko-Tex Standard 100 Citeve*, que garante aos seus clientes a qualidade dos produtos usados na realização do seu trabalho.

1.3 Contributos do Trabalho

O principal objetivo deste trabalho é o estudo de soluções que viabilizem a otimização energética da fábrica, de forma a diminuir os custos associados ao consumo de energia, sem que para isso se altere a produção. Para levar o projeto a cabo foi seguida uma ordem de trabalhos:

- 1) Levantamento dos equipamentos consumidores de energia;
- 2) Análise das diferentes fontes de energia utilizadas;
- 3) Análise detalhada do consumo referente às diferentes máquinas;
- 4) Estudo e desenvolvimento de soluções com vista à otimização energética.

1.4 Organização da Tese

Este documento encontra-se dividido em 4 capítulos e 2 anexos.

Capítulo 1 - Introdução. Neste capítulo é feita a apresentação do trabalho, da empresa onde foi realizado é feito um enquadramento e é definido um objetivo principal.

Capítulo 2 - Estado da arte. É feita uma apresentação do problema, enquadrando-o num contexto mais global, descrevendo os aspetos relacionados com o trabalho.

Capítulo 3 - Descrição técnica. Descreve detalhadamente o que foi feito no estágio.

Capítulo 4 - Conclusões. Aqui são apresentados os resultados do trabalho elaborado bem com a sua discussão.

Anexo 1 - Exemplos de cálculos. Nesta secção são apresentadas as equações usadas durante a elaboração do trabalho, de modo a justificarem os valores obtidos.

Anexo 2 - Especificações dos permutadores. Aqui estão apresentados os resultados fornecidos pelo programa utilizado para o dimensionamento dos permutadores de calor.

2 Estado da Arte

A otimização de processos na indústria é um tema que está intrinsecamente ligado à componente energética de qualquer empresa. Hoje em dia, dado o estado da economia mundial, torna-se necessário fazer o melhor aproveitamento possível da energia disponível, visto que esta tem custos financeiros para as empresas, bem como impactos ambientais, caso não seja devidamente racionalizada.

A Tintojal é uma empresa que se destaca na área da tinturaria e acabamento de têxteis pelo que é uma grande consumidora de energia, pois os equipamentos utilizados nos processos de acabamentos (as râmolas) utilizam sobretudo o gás natural como fonte de combustível.

Este trabalho tem como principal objetivo aproveitar o calor disponível dos gases de exaustão das râmolas, fazendo uma caracterização energética destas máquinas, com o fim de identificar oportunidades de otimização energética, ou seja, aproveitar a energia disponível no processo da melhor forma.

As principais técnicas utilizadas neste trabalho englobam a análise detalhada dos processos através de balanços mássicos e energéticos às râmolas. As várias medições dos consumos do gás natural foram feitas recorrendo a um contador móvel de gás natural. As medições das temperaturas de exaustão foram feitas utilizando uma sonda, colocada no interior da chaminé de cada uma das râmolas, por onde saíam os gases de exaustão dela provenientes.

No período de tempo em que o trabalho foi realizado existiam 6 râmolas na empresa em questão que consomem cerca de $2.64 \times 10^6 \text{ Nm}^3$ de gás natural por ano, onde se formam gases de exaustão que neste momento estão a ser libertados para a atmosfera, verificando-se aqui uma oportunidade de utilizar o calor disponível destes gases para o aquecimento da água do processo, reduzindo assim os custos energéticos adjacentes.

Este tipo de estudos é muito importante nos dias que correm para que possa haver uma maior eficiência energética dos processos e consequentemente uma redução de custo.

3 Descrição Técnica

3.1 Descrição de atividades da Tintojal

A atividade desta unidade fabril incide sobre o tingimento e acabamento de malhas.

A Figura 3.1 mostra de uma forma esquemática a ordem de trabalhos realizados.

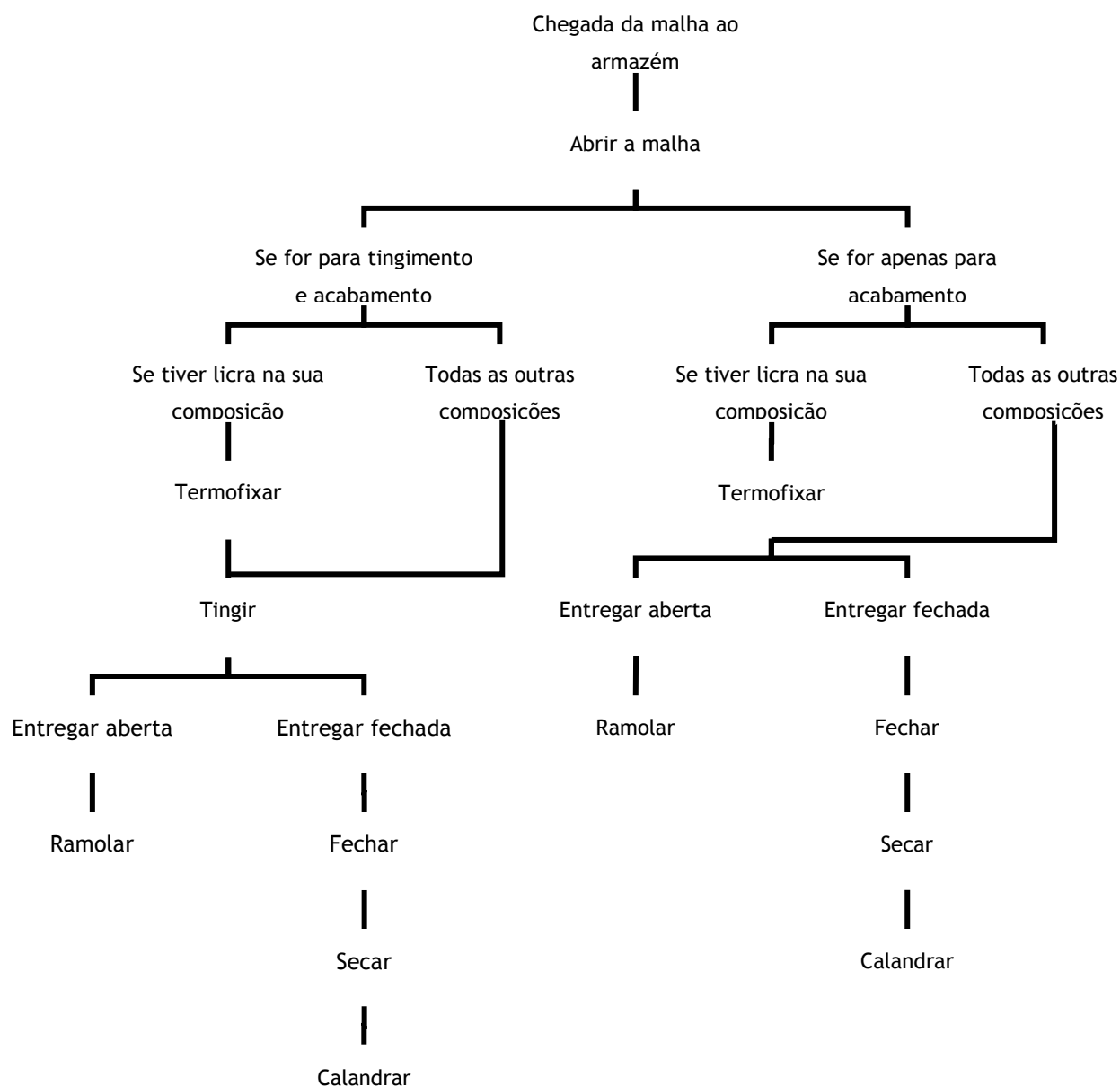


Figura 3.1 - Principais atividades na unidade fabril.

3.2 Situação energética da empresa

Pelo que já foi anteriormente referido, a Tintojal é uma empresa consumidora intensiva de energia. Numa fase inicial foi feita uma avaliação aos consumos energéticos do ano anterior, 2013, pela análise das faturas do gás natural, eletricidade e vapor. Procedeu-se ao levantamento das máquinas consumidoras deste tipo de utilidades. Analisaram-se então as máquinas consumidoras de gás natural, visto que era a principal preocupação da empresa.

3.2.1 Consumos energéticos

Após a realização de uma análise cuidada às faturas de gás natural, eletricidade e vapor, referentes ao ano de 2013 foi possível elaborar a Tabela 3.1 e a Figura 3.2.

Tabela 3.1 - Consumos energéticos por fonte, em 2013.

Utilidade	Consumo	Custo
Gás Natural	2 638 179 Nm ³	€1 394 626
Eletricidade	5 203 369 kWh	€644 382
Vapor	12 971 840 kg	€415 635

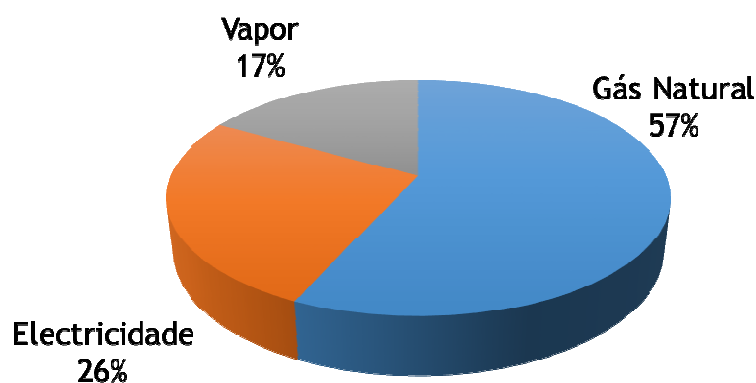


Figura 3.2 - Percentagem do custo energético por fonte, em 2013.

Verificou-se que o maior custo de energia em 2013 foi de gás natural, que representa 57% dos gastos nas diferentes fontes energéticas.

3.2.2 Diferentes máquinas consumidoras de energia

Efetuiu-se um levantamento das máquinas e elaborou-se o *layout* da fábrica. A Tabela 3.2 mostra as diferentes máquinas e a respetiva quantidade.

Tabela 3.2 - Diferentes tipos de máquinas.

Sigla	Máquina	Quantidade
MC	Máquina de cargas	4
J	Jets	33
MA	Máquina de abrir	3
R	Râmola	6
SE	Secadeira	1
EP	Espremedora	1
C	Carda	2
EC	Esmeril de carbono	1
CA	Calandra	1
SA	Sanfor	1
T	<i>Tumbler</i>	1
MF	Máquina de fechar	1
L	Lâmina	1

3.3 Râmolas

3.3.1 Conceitos

As râmolas são máquinas largamente utilizadas na indústria têxtil com a finalidade de fazer os acabamentos ao produto (malha, para este caso em concreto). São essencialmente utilizadas para secar a malha, dando, deste modo, as especificidades requeridas pelos clientes (gramagem, largura, torção, etc.) e acondiciona-a em rolos para posterior entrega ao cliente. No caso de existir licra na composição de uma malha, esta também terá que passar pela râmola para termofixar, ou seja, para estabilizar os polímeros e por conseguinte a estrutura pretendida.

Antes de a malha entrar nos campos da máquina passa por um banho que pode conter só água, no caso de estar a ramolar (o que não acontece no caso da termofixação), água com alguns produtos para amaciar a malhar, para que esta tenha um melhor toque, ou então água com amaciador e resina, para estabilizar a malha. Entra então dentro da râmola para secar. Por fim é acondicionada em rolos para seguir para o cliente.

As Figuras 3.3 e 3.4 representam o exterior e interior de uma râmola, respetivamente.

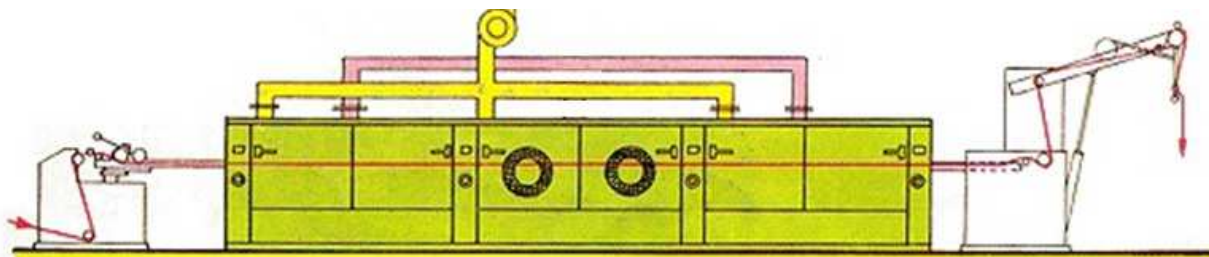


Figura 3.3 - Esquema exterior de uma râmola (fonte: www.hitecec.com.kr).

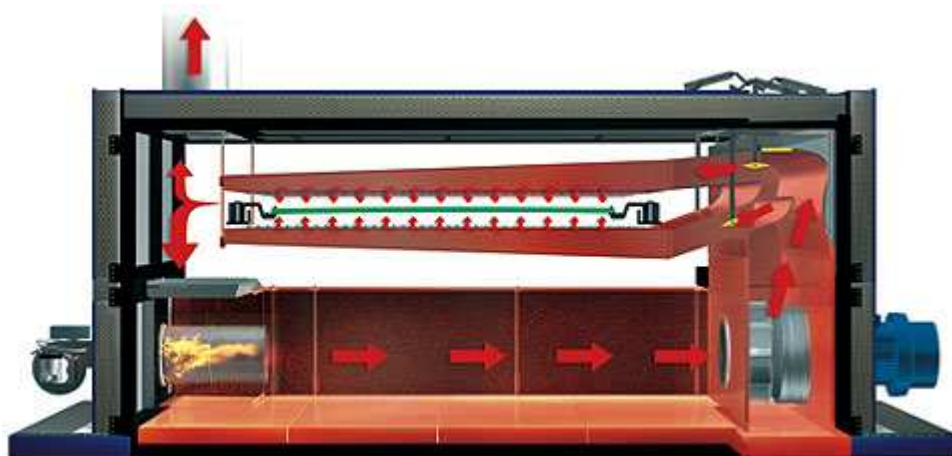


Figura 3.4 - Esquema interior de uma râmola (fonte: www.unitechgroup.it).

Para aquecer os campos das râmolas, estas têm queimadores que proporcionam a queima do gás natural.

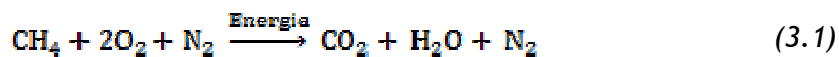
3.3.2 Combustão do gás natural

A combustão é a conversão de uma substância chamada combustível em compostos químicos, denominados como produtos da combustão, através da combinação com um oxidante. Durante esta reação química, para além dos produtos, também se liberta energia, sendo então uma reação exotérmica.

Os combustíveis são avaliados e caracterizados com base na quantidade de energia libertada por unidade de massa de combustível consumida, sendo este termo o PCI.

Neste caso é usado como combustível o gás natural (constituído em mais de 90% em volume por metano, CH_4), fornecido pela Galp, e como oxidante o ar, injetado nos campos através de ventiladores, constituído por 23.3% de oxigénio, O_2 , e 76.7% de N_2 , azoto, em massa.

A Equação 3.1 representa a reação do metano com o oxigênio.



No caso em questão considerou-se que a queima do metano se dá com 15% de excesso de ar, em massa [5] [6].

3.4 Consumos das râmolas

3.4.1 Procedimento

Antes de fazer qualquer estudo a estas máquinas é necessário saber quais as variáveis a ter em conta. A Figura 3.5 ilustra as principais variáveis envolvidas neste processo.

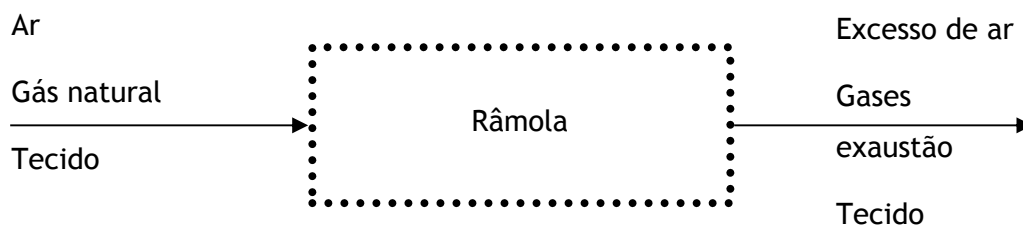


Figura 3.5 – Variáveis para o balanço a uma râmola.

Neste momento existem 6 râmolas na empresa, no entanto só foi possível estudar 3 delas, a 4, a 5 e 6.

Mediante a malha a tratar a temperatura dos campos irá ser diferente, estando entre os 120 °C e os 140 °C, no caso de ramolar. Caso a malha contenha licra na sua composição irá então passar na râmola para termofixar, sempre a 190°C.

O gás natural foi contabilizado com a ajuda de um contador fornecido pela empresa, que está ilustrado na Figura 3.6.



Figura 3.6 - Contador de gás natural.

3.4.1.1 Contagem diária

O volume de gás natural consumido foi contabilizado diariamente, fazendo uma leitura de 24 em 24 h, durante uma semana, para que fosse possível fazer uma estimativa diária. Foi também recolhida a informação da produção diária, durante esse mesmo período de tempo. Os resultados obtidos estão representados na Tabela 3.3.

Tabela 3.3 - Volume de gás natural consumido e quantidade de malha produzida.

Râmola	V_{GN} (Nm ³ .dia ⁻¹)	Quantidade (kg.dia ⁻¹)
4	5 931	825
5	6 532	1 143
6	5 017	1 005

Daqui pode concluir-se que a râmola que processa mais malha é a 5 sendo, por conseguinte, a que regista um consumo mais elevado de gás natural.

3.4.1.2 Contagem por processo

Dado que cada tipo de malha requer condições de temperatura diferentes foram seguidos vários processos.

Os cálculos efetuados para obter os valores abaixo referidos foram feitos assumindo que a reação do gás natural (metano) com o ar é completa e nas proporções estequiométricas, de modo a ser possível fazer os diferentes balanços.

Nos casos das râmolas 4 e 5 foi feita uma medida da gramagem da malha antes e depois de ramolar, com a ajuda de um funcionário, retirando uma amostra de tecido à entrada e à saída da malha na râmola e feito um corte numa máquina adequada, e posteriormente pesada a amostra numa balança previamente bem calibrada.



Figura 3.7 - Exemplo da máquina de corte circular do tecido. (<http://www.polinst.com.br>)

Esta medição é feita para que seja possível quantificar a massa de água evaporada no processo de ramolar.

No caso da râmola 6 que está maioritariamente a termofixar não foram feitas estas medições pois a malha não passa por um banho prévio, ou seja, entra seca na râmola.

No Anexo 1 apresentam-se os exemplos dos cálculos efetuados.

Nas Tabelas 3.4 e 3.5 apresentam-se os valores de gás natural consumido por râmola por diferente tipo de processo, bem como os valores obtidos através dos cálculos efetuados referentes balanços energéticos.

Tabela 3.4 - Valores obtidos após balanço mássico e energético à râmola 5.

Râmola	T _{EM} (°C)	T _R (°C)	T _E (°C)	gr _{AR} (g.m ⁻²)	gr _{DR} (g.m ⁻²)	m _{AE} (kg)	V _{GN} (m ³)	m _{GN} (kg)	Q _{GN} (kcal)	Q _{H2O} (kcal)	m _{AR,Q} (kg)	m _{AR,A} (kg)	m _{CO2} (kg)	m _{H2O} (kg)	m _E (kg)	t (h)	ṁ _E (kg.h ⁻¹)
5	28	120	108	313	129	573.0	76.0	53.2	688 180	354 374	96.2	35 276	146.3	59.9	35 439	1.65	21 478
	28	120	108	301	120	528.8	93.5	65.5	846 643	327 029	118.3	42 309	180.0	73.6	42 510	2.03	20 941
	30	120	108	553	232	523.3	49.1	34.4	444 600	322 616	62.1	23 727	94.5	38.7	23 832	0.83	28 714
	30	120	108	453	230	506.3	69.7	48.8	631 133	312 140	88.2	32 223	134.2	54.9	32 373	1.20	26 977
	28	120	108	377	166	881.8	144.9	101.4	1 312 070	545 356	183.4	65 954	278.9	114.1	66 265	3.17	20 904
	30	125	116	516	236	443.6	69.1	48.4	625 700	274 289	87.5	29 950	133.0	54.4	30 098	1.08	27 869
	30	125	116	516	236	173.2	24.1	16.9	218 225	107 110	30.5	10 555	46.4	19.0	10 606	0.53	20 012
	28	125	116	501	232	563.4	80.9	56.6	732 550	349 528	102.4	35 335	155.7	63.7	35 508	1.45	24 488
	30	130	117	302	196	28.3	16.6	11.6	150 313	17 580	21.0	6 400	32.0	13.1	6 435	0.22	29 252
	30	130	117	302	196	41.8	15.2	10.6	137 636	25 948	19.2	5 950	29.3	12.0	5 982	0.35	17 092
	30	130	117	302	200	135.2	30.8	21.6	278 894	83 856	39.0	12 340	59.3	24.3	12 406	0.67	18 517
	28	130	117	324	140	693.4	87.5	61.3	792 313	431 427	110.8	36 814	168.4	68.9	37 001	1.77	20 905
	28	130	117	638	350	208.0	42.5	29.8	384 838	129 429	53.8	17 153	81.8	33.5	17 244	1.03	16 742
	28	130	112	342	170	158.0	33.4	23.4	302 437	98 325	42.3	13 449	64.3	26.3	13 521	0.75	18 028
	28	135	114	310	187	537.2	33.4	23.4	302 437	335 243	42.3	14 874	64.3	26.3	14 946	2.18	6 856

Tabela 3.5 - Valores obtidos após balanço mássico e energético às râmolas 4, 5 e 6.

Râmola	T _{EM} (°C)	T _R (°C)	T _E (°C)	gr _{AR} (g.m ⁻²)	gr _{DR} (g.m ⁻²)	m _{AE} (kg)	V _{GN} (m ³)	m _{GN} (kg)	Q _{GN} (kcal)	Q _{H2O} (kcal)	m _{AR,Q} (kg)	m _{AR,A} (kg)	m _{CO2} (kg)	m _{H2O} (kg)	m _E (kg)	t (h)	m _E (kg.h ⁻¹)
5	28	140	118	507	291	391.7	67.7	47.4	613 024	245 178	85.7	25 186	130.3	53.3	25 331	1.23	20 595
	28	140	123	470	392	69.5	16.0	11.2	144 880	43 513	20.3	5 832	30.8	12.6	5 866	0.67	13 643
	28	140	123	355	188	23.0	4.4	3.1	39 842	14 204	5.6	1 979	8.5	3.5	1 989	0.43	13 257
4	30	120	108	292	132	752.7	68.2	47.7	617 551	462 493	86.3	33 100	131.3	53.7	33 247	0.15	21 873
	32	120	108	290	115	759.7	71.6	50.1	648 338	466 818	90.6	34 563	137.8	56.4	34 717	1.52	21 698
	32	120	108	290	115	805.7	69.8	48.9	632 039	495 117	88.4	34 095	134.4	55.0	34 245	1.60	23 617
	32	120	108	290	115	390.2	66.4	46.5	601 252	241 352	84.0	30 138	127.8	52.3	30 280	1.45	21 175
	28	120	108	293	152	217.3	28.2	19.7	255 351	134 789	35.7	12 440	54.3	22.2	12 501	1.43	21 553
	28	125	110	284	129	693.0	99.0	69.3	896 445	427 103	125.3	43 234	190.6	78.0	43 447	0.58	28 964
	32	125	110	285	140	486.5	61.5	43.1	556 883	300 781	77.8	25 852	118.4	48.4	25 984	1.50	16 240
	32	130	114	295	136	235.0	43.3	30.3	392 081	145 748	54.8	16 772	83.4	34.1	16 864	1.60	20 650
6	190	175	-----	-----	-----	-----	82	11.8	153 030	-----	21	3 979	32.5	13.3	4 003	0.33	12 009
							16.9	57.4	742 510		104	19 304	157.9	64.6	19 423	1.60	12 139

3.5 Aproveitamento do calor dos gases de exaustão

No seguimento do subcapítulo anterior o trabalho evoluiu no sentido de tentar estudar processos em que fosse possível aproveitar os gases de exaustão provenientes das râmolas estudadas para aquecer a água que é necessária para a tinturaria, pois estão a ser desaproveitados, visto que a unidade fabril tem uma necessidade de água quente bastante elevada, na secção da tinturaria.

Na altura em que este trabalho foi realizado a Tintojal fornecia água fria a uma empresa de cogeração nas redondezas e esta mesma vendia-lhes a água a 60°C. Analisadas as faturas foi possível fazer uma estimativa do consumo médio em 22 t.h⁻¹.

A partir daqui o objetivo foi projetar um permutador de calor onde os gases de exaustão trocassem calor com a água do processo que chega a cerca de 20°C e esta mesma aquecesse até 60°C.

Foram considerados 2 cenários: o primeiro foi projetar dois permutadores de calor, sendo que um a corrente quente de um dos permutadores fosse a junção das correntes de exaustão das râmolas 4 e 5 e do segundo permutador a corrente quente de entrada fosse a corrente de exaustão da râmola 6; o segundo cenário foi projetar apenas um permutador de calor em que a corrente quente de entrada fosse uma junção das correntes de exaustão das três râmolas em questão.

Antes de avançar com os cálculos referentes aos 2 cenários é necessário fazer um cálculo para saber a quantidade média de gases de exaustão por unidade de tempo, bem como a sua temperatura média, a partir das medições que foram efetuadas. Estes valores estão referidos na Tabela 3.6.

Tabela 3.6 - Caudais e temperaturas médias das correntes quentes dos permutadores.

Râmola	$\dot{m}_{\text{MÉDIO}}$ (kg.h ⁻¹)	T _{MÉDIA} (°C)
4 e 5	24 948	114
6	11 713	175
4, 5 e 6	36 661	145

3.5.1 Cenário I: Dois permutadores de calor

Sabendo que a água deve entrar a 20 °C e sair a 60 °C procedeu-se ao dimensionamento dos dois permutadores de calor de carcaça e tubos, que fornecerão água quente para a tinturaria.

A Tabela 3.7 e 3.8 representam os dados referentes aos permutadores de calor a serem colocados para aquecer a água do processo.

Tabela 3.7 - Dados das correntes quentes (H) e frias (C) de entrada (in) e saída (out) do permutador de calor para as râmolas 4 e 5.

Corrente	T (°C)	p (bar)	\dot{m} (kg.h ⁻¹)
H _{IN}	114	1	24 948
H _{OUT}	55		
C _{IN}	20		9 673
C _{OUT}	60		

Tabela 3.8 - Dados das correntes quentes (H) e frias (C) de entrada (in) e saída (out) do permutador de calor para a râmola 6.

Corrente	T (°C)	p (bar)	\dot{m} (kg.h ⁻¹)
H _{IN}	175	1	11 713
H _{OUT}	55		
C _{IN}	20		8 906
C _{OUT}	60		

Daqui pode concluir-se que é possível aquecer um caudal de 18.6 t.h⁻¹ de água do processo, o que quer dizer que há necessidade de ligar a caldeira para aquecer os restantes 3.4 t.h⁻¹.

Depois de determinar os caudais e composições das correntes dos permutadores de calor recorreu-se a um programa de modelação de equipamentos denominado *Aspen Plus® V7.3* para projetar o equipamento desejado e as especificidades dos permutadores foram obtidas a partir de uma ferramenta designada *Heat Exchanger Design & Rating*.

Algumas das especificidades destes dois permutadores estão representadas na Tabela 3.8.

Tabela 3.9 - Principais características dos dois permutadores de calor.

Râmola	Área (m ²)	Comprimento (m)	U (kcal.h ⁻¹ .m ⁻² .°C ⁻¹)	Q (Mcal.h ⁻¹)
4 e 5	92.9	4.88	131	364
6	53.9		122	335

Pode verificar-se que o valor de ambos os coeficientes globais de transferência de calor cumprem os limites estipulados para a transferência de calor entre ar e água que está compreendido entre 57 e 284 W.h⁻¹.m⁻².°C⁻¹ [7].

Com o mesmo programa pode obter-se o custo do permutador que será de €27 756 (já com o custo da instalação incluído) para as râmolas 4 e 5 e para a 6 será de €20 070, o que dá um total dos dois permutadores de €47 826.

As Figuras 3.8 e 3.9 mostram um exemplo de um permutador do tipo carcaça e tubos em aço carbónico, por dentro e por fora, respetivamente, que é o modelo escolhido para ambos os casos.

A localização dos permutadores está indicada nas Figuras 3.10 e 3.11, que se trata de uma planta não rigorosa da fábrica, onde se pode verificar que o permutador das râmolas 4 e 5 localiza-se em cima destas mesmas. O da râmola 6 situa-se em cima deste equipamento.



Figura 3.8 - Exemplo do exterior de um permutador de carcaça e tubos. (fonte: www.cataractsteel.com)

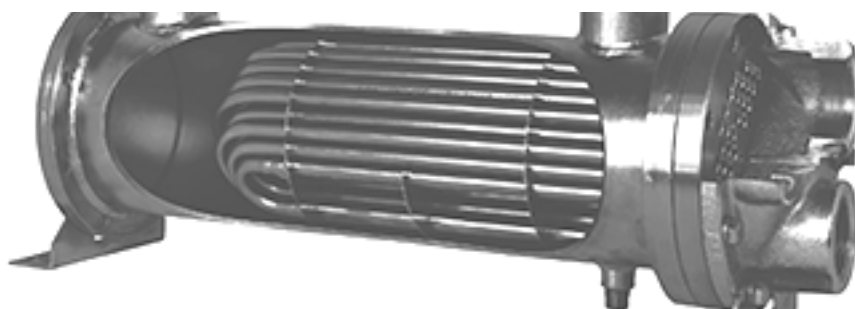


Figura 3.9 - Exemplo do interior de um permutador de carcaça e tubos. (fonte: www.womackmachine.com)

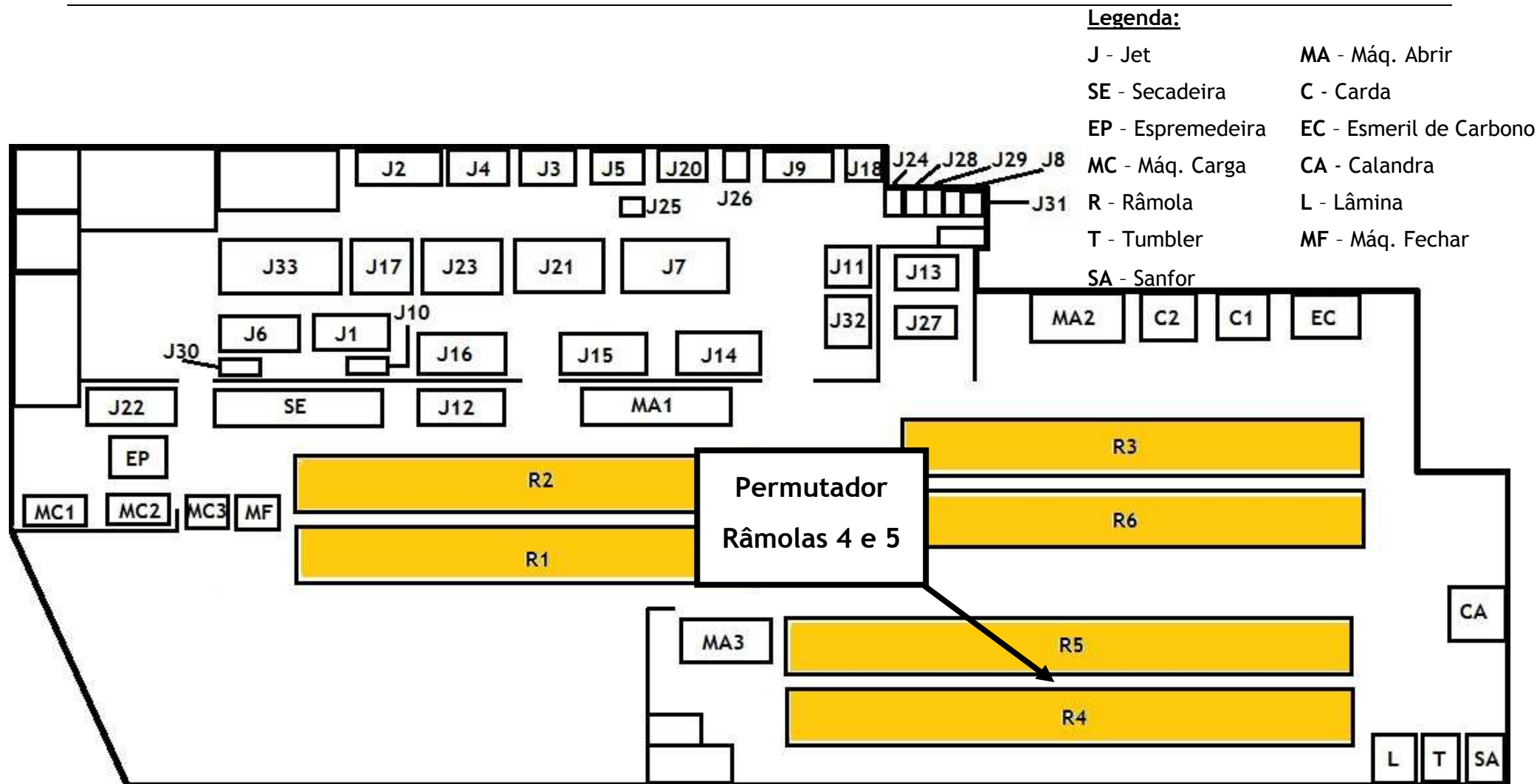


Figura 3.10 - Layout da fábrica e localização do permutador que aproveita os gases de exaustão das râmolas 4 e 5.

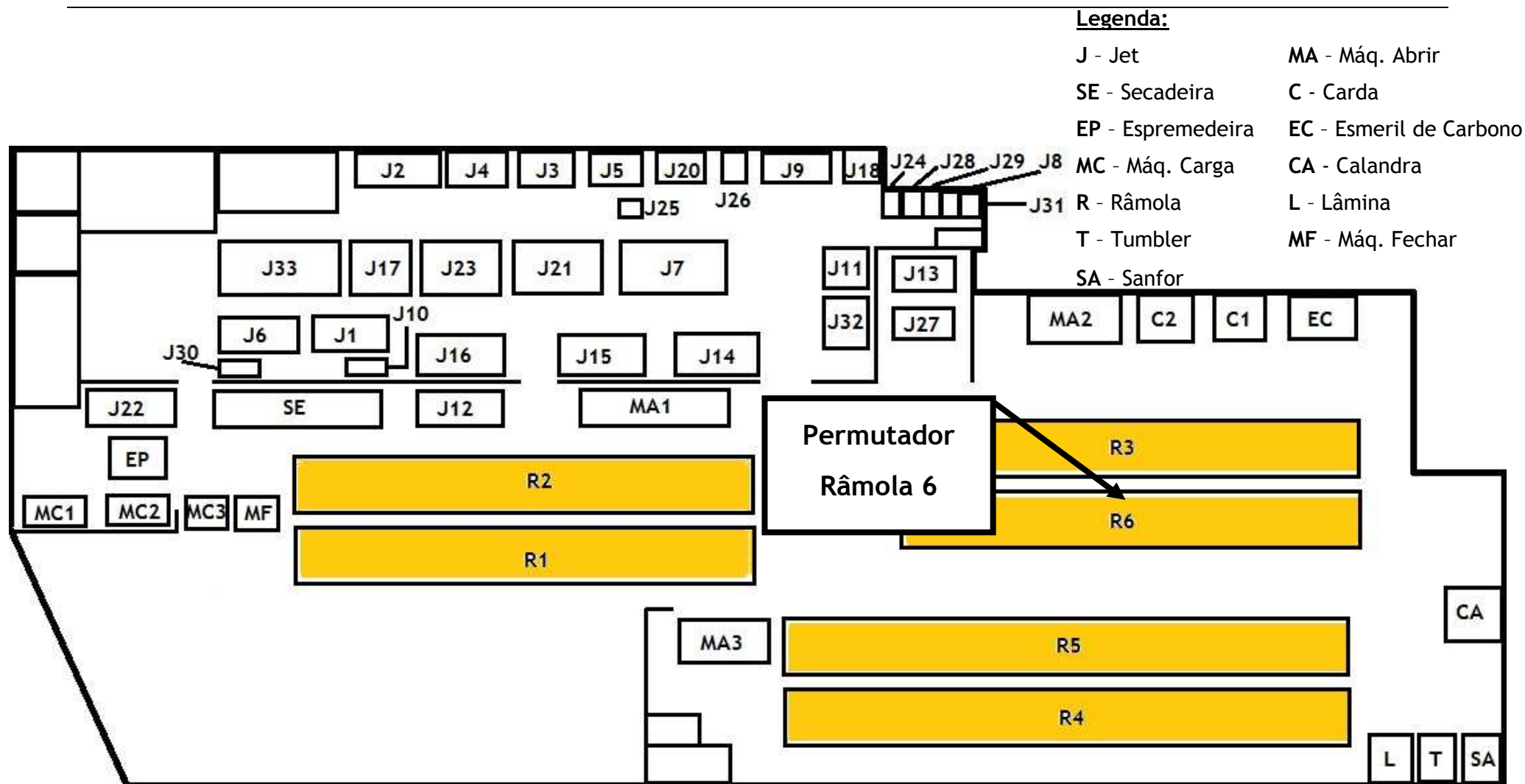


Figura 3.11 - Layout da fábrica e localização do permutador que aproveita os gases de exaustão da râmola 6.

3.5.2 Cenário II - Apenas um permutador de calor

O segundo cenário considerado foi a construção de apenas um único permutador de calor em que recebesse os gases provenientes das três râmolas em questão, simultaneamente. Para projetar esta unidade processual foi considerada uma temperatura média das três correntes de exaustão que resultou em 145°C.

Os dados das correntes do permutador de calor estão referidos na Tabela 3.9.

Tabela 3.10 - Dados das correntes do permutador de calor para as râmolas 4, 5 e 6.

Corrente	T (°C)	P (bar)	\dot{m} (kg.h ⁻¹)
H _{IN}	145	1	36 662
H _{OUT}	55		
C _{IN}	20		21 027
C _{OUT}	60		

Como podemos verificar, neste caso, é possível aquecer cerca de 21 t.h⁻¹ de água, pelo que só será necessário aquecer com a caldeira apenas 1 t.h⁻¹ de água, ou então comprar à empresa de cogeração essa mesma quantidade.

A partir destes dados foi possível recorrer ao mesmo procedimento para o caso anterior.

As principais características do permutador de calor dimensionado estão na Tabela 3.11.

Tabela 3.11 - Principais características o permutador de calor para as três râmolas.

Râmola	Área (m ²)	Comprimento (m)	U (kcal.h ⁻¹ .m ⁻² .°C ⁻¹)	Q (Mcal.h ⁻¹)
4, 5 e 6	155	4.88	124	791

O custo deste equipamento, já com a mão-de-obra da montagem incluída, será de €33 860.

O próximo passo será avaliar as duas soluções encontradas para o aproveitamento dos gases de exaustão e optar por aquela que será mais viável para a Tintojal.

A Figura 3.12 mostra a localização do permutador na fábrica.

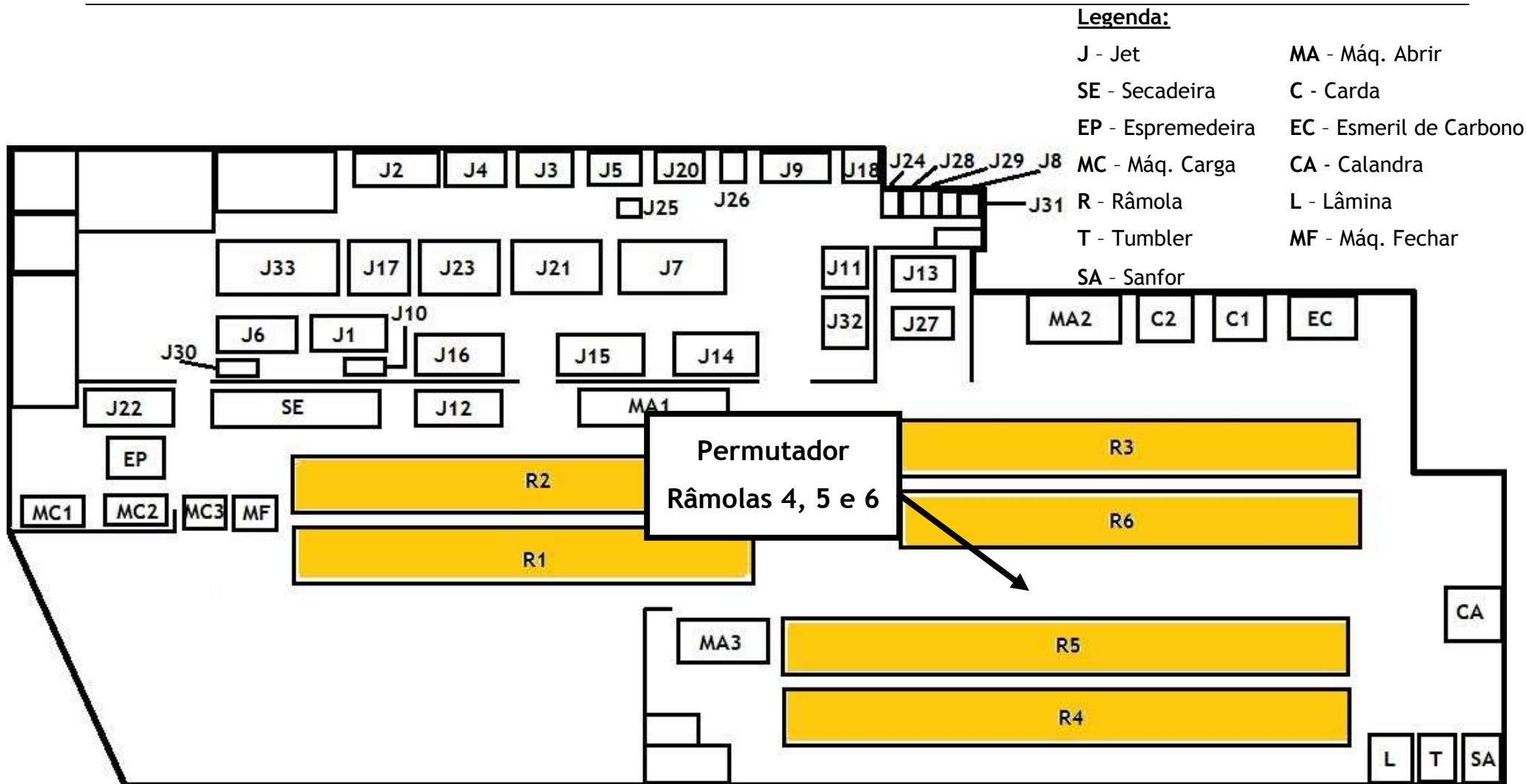


Figura 3.12 - - Layout da fábrica e localização do permutador que aproveita os gases de exaustão das râmolas 4, 5 e 6.

3.6 Avaliação económica

Para saber quanto é que se poderia poupar em ambos os casos previu-se que toda a água quente necessária para o processo que fosse necessária, para além da que poderia ser aquecida através da implementação de qualquer um dos cenários de aproveitamento dos gases de exaustão seria comprada à empresa de cogeração de energia pois não foi possível obter qualquer informação sobre a caldeira devido a esta não se encontrar em funcionamento no período em que o trabalho foi realizado.

Por motivos de confidencialidade não foi possível revelar o valor das receitas da Tintojal do ano anterior pelo que não foi possível fazer nenhuma avaliação económica a nível de *cash flows*, taxa interna de rentabilidade ou valor anual líquido de cada uma das hipóteses acima apresentadas, focando-se apenas a questão do retorno do investimento.

Contudo, para verificar a viabilidade da implementação dos estudos realizados recorreu-se a uma avaliação do tempo de retorno do investimento, que se trata do tempo que leva desde o investimento inicial e o momento em que se começa a gerar lucro, sendo que se optará pela solução em que este se der no menor tempo possível. Como em qualquer método utilizado este tem as suas vantagens e desvantagens. As principais vantagens é o facto de ser um método simples, dá a ideia do grau de liquidez e do risco do projeto bem como é um método adequado à avaliação de projetos em contexto de risco elevado. Não obstante disto tem as suas desvantagens, sendo que a principal é o facto de não ter em conta os fluxos de caixa gerados depois do ano de recuperação, tornando-se desaconselhável em projetos de longa duração [8].

3.6.1 Cenário I: dois permutadores

A unidade fabril trabalha cerca de 8 352 h por ano.

Para ambos os casos o método período de retorno (PB) foi calculado com base na seguinte equação:

$$PB = \frac{\text{Investimento}}{\text{Poupança}} \quad (3.2)$$

em que a poupança é a diferença entre o valor das 22 t.h⁻¹ de água quente e a quantidade necessária para perfazer este valor, para além do que se consegue produzir com o aproveitamento dos gases de exaustão.

Assim sendo, a Tabela 3.12 mostra os valores obtidos para este primeiro caso.

Tabela 3.12 - Método PB para o primeiro caso.

Râmola	Investimento (€)	Custo Água _T ¹ (€)	Custo Água _E (€)	Poupança (€)	PB (meses)
4 e 5	57 434	367 488	56 794	310 694	2
6					

Pode então concluir-se que o investimento nestes dois equipamentos se recupera em dois meses.

3.6.2 Cenário II: Com um permutador

Para este equipamento foi feito o mesmo procedimento e os resultados obtidos estão apresentados na Tabela 3.13.

Tabela 3.13 - Método PB para o segundo caso.

Râmola	Investimento (€)	Custo Água _T ² (€)	Custo Água _E (€)	Poupança (€)	PB (meses)
4, 5 e 6	40 971	367 488	16 704	350 784	1

Neste caso o período de retorno é de cerca de um mês, sendo esta a melhor opção de aproveitamento do calor disponível nos gases de exaustão das râmolas referidas.

Os cálculos referentes ao investimento estão representados no Anexo 1.

^{1, 2} O custo da água quente foi estimado em €2 por tonelada, com base no preço de gás natural que seria necessário gastar para elevar a temperatura da água em 40 °C [9].

4 Conclusões

No seguimento da caracterização energética da empresa foram avaliadas as faturas da eletricidade, do vapor e do gás natural e concluiu-se que a que representava um valor mais elevado na fatura energética em 2013 era o gás natural, representando cerca de 54%. Foi então feito o levantamento detalhado dos equipamentos consumidores energia e verificou-se que os maiores consumidores de gás natural eram as râmolas.

Decidiu-se que o trabalho devia seguir de modo a tentar fazer alguma otimização que pudesse aproveitar alguma energia dissipada por estas máquinas, integrando essa melhoria no processo ativo neste período.

Depois de analisar detalhadamente cada processo em três das seis máquinas existentes na secção dos acabamentos, fazendo consecutivas medições dos consumos de gás natural e das temperaturas dos gases de exaustão o trabalho evoluiu no sentido do aproveitamento dos gases de exaustão que estavam a ser lançados para a atmosfera.

Da primeira solução encontrada seria possível poupar 85% por ano na compra da água quente, que representa €310 694 por ano, tendo um tempo de retorno do investimento de dois meses. Na segunda solução a empresa pouparia 95% por ano, €350 784, e teria um tempo de retorno do investimento de um mês.

Do estudo com os 2 cenários pode concluir-se que o mais favorável seria a de instalar apenas um permutador de calor, pois conseguir-se-á poupar mais dinheiro, bem como ter um retorno mais rápido do investimento.

4.1 Objetivos Realizados

As tarefas que foram propostas para este trabalho foram completadas com sucesso, sendo estas a caracterização energética, o levantamento dos equipamentos que consomem mais energia e, por fim, encontrar uma ou mais soluções que viabilizem um aumento da eficiência energética da instalação.

4.2 Limitações e Trabalho Futuro

Este trabalho teve como principais limitações a dificuldade em entender detalhadamente o funcionamento das râmolas, pois tratam-se de máquinas com um modo de funcionamento complexo. Outra das dificuldades foi a falta de equipamento que permitisse medir com a maior precisão o caudal dos gases de exaustão das râmolas estudadas bem como a sua composição, pois trata-se de instrumentação com um custo demasiado elevado.

Devido a estas limitações foram tomadas algumas suposições durante o trabalho que poderão ter influenciado a precisão dos resultados obtidos.

4.3 Apreciação final

A realização deste projeto deu-se de uma forma contínua e revelou-se bastante interessante para a minha experiência profissional e académica.

A oportunidade de trabalhar neste setor industrial deu-me a conhecer métodos de trabalho que serão importantes na minha carreira futura.

Os obstáculos com que me fui deparando também ajudaram a conseguir resolver problemas de uma forma mais metódica e saber como ultrapassá-los.

De uma forma geral esta experiência foi bem-sucedida devido aos bons resultados obtidos, bem como ao bom ambiente onde tive o prazer de trabalhar.

Referências

- [1] Decreto-lei nº238/94, 19 de setembro de 1994.
- [2] <http://www.galp202020.com>, consultado em março de 2014.
- [3] <http://www.adene.pt/politica-energetica>, consultado em março de 2014.
- [4] CITEVE - Centro Tecnológico das Indústrias Têxtil e do Vestuário de Portugal (2012) Plano setorial de melhoria da eficiência energética em PME - Setor têxtil e do Vestuário. Lisboa: IAPMEI - Instituto de Apoio às Pequenas e Médias Empresas e à Inovação.
- [5] WESTON, Kenneth C. (1992) Energy Conversion: Chapter 3 - Fuels and Combustion. Boston: PWS Publishing Company.
- [6] Slides: Prof. Hsin, Chu Dept. of Chemical Environment Engineering, National Chen *Kung University*.
- [7] R. H. Perry e D. W. Green (1997) Perry's Chemical Engineers Handbook, 7th edition. Nova York: McGraw-Hill.
- [8] <http://pt.wikipedia.org/wiki/Payback>, consultado em junho de 2014.
- [9] Slides: Prof. Martins, Fernando (2013) Introdução ao Projeto de Engenharia. Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- [10] Cardoso, Nuno (2012) Relatório de Estágio: Caracterização Energética da Otojal, Estamparia Têxtil, Lda. Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

Anexo 1 Exemplos de Cálculos

Neste anexo é dado um exemplo de cálculo para os balanços que foram efetuados.

Massa de gás natural consumido

$$m_{GN,consumido} = V_{GN,consumido} \times \rho_{GN} \quad (A1.1)$$

Em que o $\rho_{GN} = 0.7 \text{ kg.m}^{-3}$.

Energia libertada pelo gás natural durante a reação

$$Q_{GN} = V_{GN,consumido} \times PCI_{GN} \quad (A1.2)$$

Em que o $PCI_{GN} = 9055 \text{ kcal.m}^{-3}$.

Massa de ar para queima

$$m_{Ar,queima} = 1.8 \times m_{GN,consumido} \quad (A1.3)$$

Em que 1.8 é o fator de conversão do ar na reação de combustão.

Massa de água evaporada (no caso da ramolagem)

$$m_{H_2O,evaporada} = gr_{DR} - gr_{AR} \quad (A1.4)$$

Energia necessária para evaporar a água presente no tecido (no caso da ramolagem)

$$Q_{H_2O} = [m_{H_2O} \times c_{p_{H_2O}} \times (100 - T_E)] + [m_{H_2O} \times H_{H_2O}^{vap}] + [m_{H_2O} \times c_{p_{vap}} \times (T_E - 100)] \quad (A1.5)$$

Em que o $c_{p_{H_2O}} = 1 \text{ kcal.kg}^{-1}.\text{°C}^{-1}$, o $c_{p_{vap}} = 0.374 \text{ kcal.kg}^{-1}.\text{°C}^{-1}$ e a $H_{H_2O}^{vap} = 539 \text{ kcal.kg}^{-1}$.

Massa de ar total alimentado à râmola [10]

$$Q_{Ar,alimentado} = Q_{GN} - Q_{H_2O} \quad (A1.6)$$

$$Q_{Ar,alimentado} = m_{Ar,alimentado} \times c_{p_{Ar}} \times (T_R - T_{Ambiente}) \quad (A1.7)$$

A massa do ar alimentado à râmola obtém-se substituindo a Equação (A1.7) na Equação (A1.6) e resolvendo em ordem à massa de ar alimentado. O $c_{p_{Ar}} = 0.242 \text{ kcal.kg}^{-1}.\text{°C}^{-1}$. No caso de a râmola estar a termofixar a parcela Q_{H_2O} é nula e a quantidade de ar alimentado obtém-se resolvendo a mesma equação.

Massa de CO₂ produzida durante a reação

$$m_{CO_2} = 2.75 \times m_{GN,consumido} \quad (A1.8)$$

Em que 2.75 é o fator de conversão do CO₂ na reação de combustão.

Massa de H₂O produzida durante a reação

$$m_{H_2O} = 1.125 \times m_{GN,consumido} \quad (A1.9)$$

Em que o 1.125 é o fator de conversão do H₂O na reação de combustão.

Investimento nos permutadores de calor

$$\text{Investimento} = C_{\text{permutador}} \times 1.20 \quad (A1.10)$$

Em que o $C_{\text{Permutador}}$ é o custo do equipamento, incluindo já a montagem e o fator 1.20 representa o custo do *piping*, que acresce 20% ao custo do permutador.

Anexo 2 Especificações dos permutadores

Neste anexo são apresentados os detalhes dos três permutadores de calor projetados para as duas soluções encontrada, com maior pormenor.

Estes dados foram obtidos a partir do programa de modelação de unidades processuais utilizado, acima já referido.

Heat Exchanger Specification Sheet

6	Size	550 --4876,8	mm	Type	AES	Hor	Connected in	1 parallel	1 series	
7	Surf/unit(eff.)	92,9	m ²	Shells/unit	1		Surf/shell (eff.)	92,9	m ²	
8	PERFORMANCE OF ONE UNIT									
9	Fluid allocation	Shell Side			Tube Side					
10	Fluid name	4			5					
11	Fluid quantity, Total	kg/h	24948			9673				
12	Vapor (In/Out)	kg/h	24948	24948	0	0				
13	Liquid	kg/h	0	0	9673	9673				
14	Noncondensable	kg/h	0	0	0	0				
15										
16	Temperature (In/Out)	°C	114	53,6	20	60				
17	Dew / Bubble point	°C								
18	Density Vapor/Liquid	kg/m ³	1	1,05	998,7	959,52				
19	Viscosity	cp	0,0224	0,0198	1,021	0,4744				
20	Molecular wt, Vap		28,82	28,82						
21	Molecular wt, NC									
22	Specific heat	kcal/(kg C)	0,2423	0,2411	0,906	0,9787				
23	Thermal conductivity	kcal/(h m C)	0,028	0,024	0,516	0,558				
24	Latent heat	kcal/kg								
25	Pressure (abs)	kgf/cm ²	1,137	1,014	1,033	1,013				
26	Velocity	m/s	170,44			0,1				
27	Pressure drop, allow./calc.	kgf/cm ²	0,122	4,019	0,204	0,021				
28	Fouling resist. (min)	m ² h C/kcal	0			0	0 Ao based			
29	Heat exchanged	kcal/h	364085	MTD corrected			29,96 °C			
30	Transfer rate, Service	130,8	Dirty	241,1	Clean	241,1	kcal/(h m ² C)			
31	CONSTRUCTION OF ONE SHELL					Sketch				
32		Shell Side			Tube Side					
33	Design/vac/test pressure:g	kgf/cm ²	3,059	3,059						
34	Design temperature	°C	150	95						
35	Number passes per shell		1	2						
37	Connections	In	mm	1	304,8	-	1			50,8
38	Size/rating	Out		1	304,8	-	1	38,1	-	
39	Nominal	Intermediate		-	-			-		
40	Tube No.	333	OD	19,05	Tks-Avg	2,11	mm	Length	4876,8	mm
41	Tube type	Plain	#/m		Material	Carbon Steel		Tube pattern	30	
42	Shell	Carbon Steel	ID	550	OD	570	mm	Shell cover	Carbon Steel	
43	Channel or bonnet	Carbon Steel			Channel cover	Carbon Steel				
44	Tubesheet-stationary	Carbon Steel	-		Tubesheet-floating	Carbon Steel				
45	Floating head cover	Carbon Steel			Impingement protection	None				
46	Baffle-crossing	Carbon Steel	Type	Single segmental	Cut(%d)	39,33	H	Spacing: c/c	300	mm
47	Baffle-long	-	Seal type		Inlet	530,61				mm
48	Supports-tube	U-bend	Type							
49	Bypass seal		Tube-tubesheet joint	Exp.						
50	Expansion joint	-	Type	None						
51	RhoV2-Inlet nozzle	9040	Bundle entrance	11497	Bundle exit	10778				kg/(m s ²)
52	Gaskets - Shell side	Flat Metal Jacket Fibe	Tube Side		Flat Metal Jacket Fibe					
53	Floating head	Flat Metal Jacket Fibe								
54	Code requirements	ASME Code Sec VIII Div 1			TEMA class	R - refinery service				
55	Weight/Shell	2839,2	Filled with water	4021,5	Bundle	1629,7				kg
56	Remarks									
57										
58										

Figura (Anexo 2).1 - Exemplo da TEMA Sheet fornecida pelo Aspen para o permutador das râmolas 4 e 5, no primeiro caso.

Heat Exchanger Specification Sheet

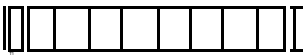
6	Size	435 --4876,8	mm	Type	AES	Hor	Connected in	1 parallel	1 series
7	Surf/unit(eff.)	53,9	m ²	Shells/unit	1		Surf/shell (eff.)		53,9 m ²
8	PERFORMANCE OF ONE UNIT								
9	Fluid allocation			Shell Side			Tube Side		
10	Fluid name			4			5		
11	Fluid quantity, Total		kg/h		11713			8906	
12	Vapor (In/Out)		kg/h		11713		11713	0	0
13	Liquid		kg/h		0		0	8906	8906
14	Noncondensable		kg/h		0		0	0	0
15									
16	Temperature (In/Out)		°C		175		57,04	20	60
17	Dew / Bubble point		°C						
18	Density	Vapor/Liquid	kg/m ³		0,86		1,04	998,7 7	959,52
19	Viscosity		cp		0,0249		0,0199	1,021 4	0,4744
21	Molecular wt, NC								
22	Specific heat		kcal/(kg C)		0,2444		0,2413	0,906 3	0,9787
23	Thermal conductivity		kcal/(h m C)		0,031		0,024	0,516	0,558
24	Latent heat		kcal/kg						
25	Pressure (abs)		kgf/cm ²		1,137		1,014	1,033	1,014
27	Pressure drop, allow./calc.		kgf/cm ²		0,122		1,448	0,204	0,02
28	Fouling resist. (min)		m ² h C/kcal			0		0	0 Ao based
29	Heat exchanged	335218	kcal/h				MTD corrected	50,94	°C
30	Transfer rate, Service	122,1	Dirty	248,1		Clean	248,1		kcal/(h m ² C)
31	CONSTRUCTION OF ONE SHELL							Sketch	
32			Shell Side			Tube Side			
33	Design/vac/test pressure:g	kgf/cm ²	3,059			3,059			
34	Design temperature	°C	210			95			
35	Number passes per shell		1			2			
37	Connections	In	mm	1	254	-	1	50,8	-
38	Size/rating	Out	mm	1	254	-	1	38,1	-
39	Nominal	Intermediate	-			-			
40	Tube No.	193	OD	19,05	Tks-Avg	2,11	mm	Length	4876,8
41	Tube type	Plain	#/m		Material	Carbon Steel		Tube pattern	30
42	Shell	Carbon Steel	ID	435	OD	455	mm	Shell cover	Carbon Steel
43	Channel or bonnet	Carbon Steel						Channel cover	Carbon Steel
44	Tubesheet-stationary	Carbon Steel		-				Tubesheet-floating	Carbon Steel
45	Floating head cover	Carbon Steel						Impingement protection	None
46	Baffle-crossing	Carbon Steel	Type	Single segmental	Cut(%d)	45,99	H	Spacing: c/c	300
47	Baffle-long	-		Seal type				Inlet	533,61
48	Supports-tube	U-bend			Type				
49	Bypass seal				Tube-tubesheet joint		Exp.		
50	Expansion joint	-		Type	None				
51	RhoV2-Inlet nozzle	4748		Bundle entrance	3126			Bundle exit	2558
52	Gaskets - Shell side	Flat Metal Jacket Fibe		Tube Side				Flat Metal Jacket Fibe	
53	Floating head	Flat Metal Jacket Fibe							
54	Code requirements	ASME Code Sec VIII Div 1					TEMA class	R - refinery service	
55	Weight/Shell	1867,6		Filled with water	2595,3		Bundle	957,4	kg
56	Remarks								

Figura (Anexo 2).2 - Exemplo da TEMA Sheet fornecida pelo Aspen para o permutador da râmola 6, no primeiro caso.

Heat Exchanger Specification Sheet

6	Size	435 --4876,8	mm	Type	AES	Hor	Connected in	1 parallel	1 series	
7	Surf/unit(eff.)	53,9	m ²	Shells/unit	1		Surf/shell (eff.)		53,9 m ²	
8	PERFORMANCE OF ONE UNIT									
9	Fluid allocation	Shell Side			Tube Side					
10	Fluid name	4			5					
11	Fluid quantity, Total	kg/h			11713		8906			
12	Vapor (In/Out)	kg/h			11713		0		0	
13	Liquid	kg/h			0		8906		8906	
14	Noncondensable	kg/h			0		0		0	
15										
16	Temperature (In/Out)	°C			175		57,04		20 60	
17	Dew / Bubble point	°C								
18	Density Vapor/Liquid	kg/m ³			0,86		1,04		998,7 7 959,52	
19	Viscosity	cp			0,0249		0,0199		1,021 4 0,4744	
21	Molecular wt, NC									
22	Specific heat	kcal/(kg C)			0,2444		0,2413		0,906 3 0,9787	
23	Thermal conductivity	kcal/(h m C)			0,031		0,024		0,516 0,558	
24	Latent heat	kcal/kg								
25	Pressure (abs)	kgf/cm ²			1,137		1,014		1,033 1,014	
27	Pressure drop, allow./calc.	kgf/cm ²			0,122		1,448		0,204 0,02	
28	Fouling resist. (min)	m ² h C/kcal			0		0		0 Ao based	
29	Heat exchanged	kcal/h			335218		MTD corrected		50,94 °C	
30	Transfer rate, Service	Dirty			122,1 248,1		Clean		248,1 kcal/(h m ² C)	
31	CONSTRUCTION OF ONE SHELL								Sketch	
32		Shell Side			Tube Side					
34	Design temperature	°C			210 95					
35	Number passes per shell				1 2					
37	Connections	In	mm		1	254 -				1 50,8 -
38	Size/rating	Out			1	254 -				1 38,1 -
39	Nominal	Intermediate			-			-		
40	Tube No.	193	OD	19,05	Tks-Avg	2,11	mm	Length	4876,8 mm Pitch 23,81 mm	
41	Tube type	Plain	#/m		Material	Carbon Steel		Tube pattern	30	
42	Shell	Carbon Steel	ID	435	OD	455	mm	Shell cover	Carbon Steel	
43	Channel or bonnet	Carbon Steel					Channel cover	Carbon Steel		
44	Tubesheet-stationary	Carbon Steel	-				Tubesheet-floating	Carbon Steel		
45	Floating head cover	Carbon Steel					Impingement protection	None		
46	Baffle-crossing	Carbon Steel	Type	Single segmental	Cut(%d)	45,99	H	Spacing: c/c	300 mm	
47	Baffle-long	-	Seal type				Inlet	533,61	mm	
48	Supports-tube	U-bend			Type					
49	Bypass seal				Tube-tubesheet joint			Exp.		
50	Expansion joint	-			Type			None		
51	RhoV2-Inlet nozzle	4748	Bundle entrance			3126	Bundle exit	2558	kg/(m s ²)	
52	Gaskets - Shell side	Flat Metal Jacket Fibe			Tube Side			Flat Metal Jacket Fibe		
53	Floating head	Flat Metal Jacket Fibe								
54	Code requirements	ASME Code Sec VIII Div 1						TEMA class	R - refinery service	
55	Weight/Shell	1867,6	Filled with water			2595,3	Bundle	957,4	kg	
56	Remarks									

Figura (Anexo 2).3 - Exemplo da Tema Sheet fornecida pelo Aspen para o permutador das râmolas 4, 5 e 6, para o segundo caso.